

VŠB – Technická Univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Studie zásobování rodinného domku elektrickou energií a teplem
prostřednictvím kogenerace se Stirlingovým motorem

A Study on a Family House Heating and Electricity System with a
Co-generation Stirling Motor Unit

Student:

Smička Jakub

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Míka Jiří, CSc.

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Smička**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **3907R004 Provoz a řízení v energetice**
Téma: **Studie zásobování rodinného domku elektrickou energií a teplem prostřednictvím kogenerace se Stirlingovým motorem.
A Study on a Family House Heating and Electricity System with a Co-generation Stirling Motor Unit**

Zásady pro vypracování:

1. Vyhodnocení spotřeby energií na základě naměřených hodnot.
2. Bilanční návrh plynového kotle, motoru s vnějším spalováním a akumulčního výměníku.
3. Technicko – ekonomické zhodnocení studie a porovnání se současným stavem.

Grafická část bude obsahovat:

1. Schéma uspořádání jednotky.
2. Cash – flow ekonomické efektivity.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Krbek J., Polesný B. - Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích, Skripta VUT Brno 1997.
- [2] Voráček V. a kol. - Energetické stroje, Skripta VŠB-TU Ostrava 1990.
- [3] Kysela, L., Tomčala, J.: Ekonomika v energetice. Ediční středisko. Ostrava: VŠB-TU, 2000.
- [4] Kysela, L.: Využití odpadního tepla. Poznámky k přednáškám. Katedra energetiky. Ostrava, 2001.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jiří Míka, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 23.5. 2011



.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/200 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 23.5. 2011



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jakub Smička

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Vaníčková 38, Olomouc, 772 00

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Jiřímu Míkovi, CSc. za odbornou pomoc a další cenné zkušenosti při zpracování mé bakalářské práce.

V Ostravě dne 23.5. 2011

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Smička, J. *Studie zásobování rodinného domku elektrickou energií a teplem prostřednictvím kogenerace se Stirlingovým motorem*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2011, 53 s., Vedoucí práce: Doc. Ing. Míka Jiří, CSc.

Bakalářská práce se zabývá návrhem kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem v zadaném rodinném domě. Teoretická část obsahuje seznámení s problematikou kogenerace, Stirlingův motor a praktická část se zabývá výpočtem tepelných ztrát a skutečnou spotřebou tepla rodinného domu. Na základě výpočtů je navržena vhodná kogenerační jednotka a ta je následně ekonomicky zhodnocena výpočtem doby návratnosti investice. Jako další část je proveden konstrukční návrh tepelného výměníku a zapojení kogenerační jednotky do systému rodinného domu.

KLÍČOVÁ SLOVA

- kogenerace
- Stirlingův motor

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

Smicka, J. *A Study on a Family House Heating and Elektriciry System with a Co-generation Stirling Motor Unit*. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, The Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2011, 53 p., Thesis head: Doc. Ing. Míka Jiri, CSc.

The bachelor thesis describes the concept of co-generation unit with Stirling engine in specified family house. The theoretical part includes a co-generation and Stirling engine issues and the practical part deals with calculation of heat losses and actual consumption of the family house. Based on calculations is designed appropriate co-generation unit and then is calculated the economic payback time this unit. In another part of bachelor thesis is designed a structural proposal of heat exchanger and connection to the co-generation system of the family house.

KEYWORDS

- Co-generation
- Stirling engine

OBSAH

Seznam použitých značek a symbolů	9
2. KOGENERACE.....	11
2.1 Kogenerační technologie.....	11
2.2 Hlavní zásady při návrhu kogenerační jednotky	12
2.3 Výhody, nevýhody kogenerace	12
2.4 Obsluha a servis kogenerační jednotky.....	13
2.5 Kogenerace a životní prostředí.....	13
3. STIRLINGŮV MOTOR.....	14
3.1 Ideální Stirlingův cyklus	14
3.2 Popis motoru	14
3.3 Parametry Stirlingova motoru	16
3.4 Výhody, nevýhody Stirlingova motoru.....	17
3.5 Vývoj Stirlingova motoru	17
4. POPIS RODINNÉHO DOMU	18
5.1 Výpočet tepelných ztrát podle ČSN 38 3350	19
5.2 Výpočet tepelných ztrát podle ČSN 06 0210	22
6. SKUTEČNÁ SPOTŘEBA TEPLA	29
6.1 Výpočet skutečné spotřeby zemního plynu.....	29
6.2 Srovnání skutečné spotřeby tepla s výslednými tepelnými ztrátami	30
7. NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	31
8. VÝPOČET VÝMĚNÍKU TEPLA.....	32
8.1 Průběh teplot ve výměníku.....	32
8.2 Střední logaritmický teplotní spád	32
8.3 Výpočet objemu spalín a množství vody	33
8.4 Volba rozměrů vnitřních trubek výměníku	34
8.5 Výpočet součinitele přestupu tepla pro příčné obtékání trubek	34

8.6 Výpočet součinitele přestupu tepla při podélném obtékání teplosměnné plochy ..	37
9. EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ STUDIE.....	41
9.1. Výpočet vyrobených kWh elektrické a tepelné energie.....	41
9.2 Spotřeba plynu v otopném období	42
9.3 Náklady za zemní plyn a elektrickou energii v otopném období.....	42
9.4 Ekonomická efektivnost po instalaci kogenerační jednotky	43
9.5 Porovnání ekonomické efektivnosti různých dodavatelů plynu	46
10. ZÁVĚR	47
11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	48
12. SEZNAM PŘÍLOH.....	49

Seznam použitých značek a symbolů

C_{do}	cena za distribuci a obchod	[Kč/MWh]
C_{pl}	součet cen za odebraný zemní plyn	[Kč/kWh]
C_s	korekční součinitel na počet řad trubek	[1]
C_t	korekční součinitel na teplotu média a stěny	[1]
ΔN	úspora nákladů	[Kč]
L	délka výměníku	[m]
N_c	náklady celkové	[Kč]
N_h	hrubá návratnost investice	[let]
N_{zp}	náklady za zemní plyn	[Kč]
P	předaný tepelný výkon	[W]
P_{ekg}	elektrický výkon kogenerační jednotky	[kW]
P_r	Prandtlovo kritérium	[1]
P_{st}	součet stálých měsíčních poplatků	[Kč/měsíc]
P_{SPAL}	tepelný výkon spalín	[kW]
P_{tkg}	tepelný výkon kogenerační jednotky	[kW]
Q_{max}	skutečná spotřeba zemního plynu	[m ³ /den]
Q_o	tepelná ztráta objektu	[W]
Q_p	odpovídající spotřeba plynu	[kWh]
Q_{pl}	potřeba tepla v plynu	[W]
Q_{se}	spotřeba elektrické energie v otopném období	[kWh]
Q_{ss}	základní ztráta na jednotlivé strany	[W]
Q_t	vyrobené teplo v otopném období	[W]
Q_v	tepelná ztráta větráním	[W]
R_e	Reynoldsovo kritérium	[1]
S_e	průměrná hodnota obvodového pláště	[m ²]
S_{pr}	příčná vzdálenost os trubek	[m]
S_{pz}	podélná vzdálenost os trubek	[m]
V	obestavěný prostor	[m ³]
V_{SPAL}	množství spalín	[m ³ .s ⁻¹]
V_v	objemový tok větracího vzduchu	[m ³ .s ⁻¹]
V_{vh}	průtok vzduchu	[m ³ .s ⁻¹]
c_v	objemová tepelná kapacita	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
Δt	teplotní rozdíl	[°C]
$\Delta t_{stř}$	střední logaritmický teplotní spád	[°C]
d_{sp}	průměr pro přívod a odvod spalín	[m]

h	světla výška místnosti	[m]
i_{spal}	entalpie spalin	[kJ.kg ⁻¹]
i_v	entalpie vody	[kJ.kg ⁻¹]
k	celkový součinitel prostupu tepla	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
k_v	součinitel prostupu tepla transparentní výplní	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
l	celková délka trubek výměníku	[m]
m_v	množství vody	[kg.s ⁻¹]
n	počet trubek výměníku	[1]
n_h	hygienicky nutná výměna vzduchu	[h ⁻¹]
n_o	počet dnů v otopném období	[1]
p_3	přídavek na světové strany	[1]
q_o	tepelná charakteristika	[W.m ⁻³ .K ⁻¹]
t_e	venkovní teplota	[°C]
t_i	vnitřní teplota interiéru	[°C]
$t_{\text{sp}1/2}$	teplota spalin vstupní/výstupní	[°C]
w_{sp}	rychlost spalin	[m.s ⁻¹]
w_v	rychlost vody	[m.s ⁻¹]
z	počet řad trubek	[1]
$\eta_{\text{vým}}$	účinnost výměníku	[%]
α_1	součinitel přestupu tepla pro příčné obtékání trubek	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
λ_{sp}	tepelná vodivost spalin	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
ρ_{sp}	hustota spalin	[kg.m ⁻³]
η_{sp}	dynamická viskozita spalin	[Pa.s]
σ_{pr}	poměrný příčný rozestup	[1]
σ_{pz}	poměrný podélný rozestup	[1]
$\sigma_{\text{úp}}$	poměrný úhlopříčný rozestup	[1]
φ_{σ}	závislost uspořádání trubek	[1]
λ_v	součinitel tepelné vodivosti spalin	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
ρ_v	hustota vody	[kg.m ⁻³]
η_v	dynamická viskozita vody	[Pa.s]
α_2	součinitel přestupu tepla při podélném obtékání trubek	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
π	Ludolfovo číslo	[1]
μ_k	účinnost plynového kotle	[%]

1. ÚVOD

Při dnešním trendu stálého růstu zvyšování cen energií vznikají potřeby po nezávislosti a také ekologické odpovědnosti obyvatel k pořízování zařízení, které tepelnou a elektrickou energii dokážou s maximální efektivností vyrobit přímo v domácnostech.

Jako velice perspektivní a v poslední době velmi rozšířené, se ukazují technologie na principu mikrokogeneračních jednotek, které s vysokou efektivitou dokážou spotřebovat energii obsaženou v palivu a vyrobit danému objektu jak teplo pro vytápění, tak elektrickou energii a tedy zcela pokrýt danou spotřebu jednotlivce. Jedna z velmi vhodných aplikací mikrokogenerační jednotky je použití Stirlingova motoru, který svou spolehlivostí a jednoduchou konstrukcí splňuje požadavky potřebné pro provoz takové jednotky .

Kogenerační technologie klade důraz zejména na životní prostředí a ekonomickou úsporu provozních nákladů, a proto se řadí k nejefektivnějším způsobům využití tepelné energie v jednom technologickém procesu. Protože se velkou měrou snižují emise škodlivých plynů vypouštěných do ovzduší, je tento způsob výroby velmi účinným nástrojem globální ochrany životního prostředí a klimatu.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout vhodnou kogenerační jednotku se Stirlingovým motorem, která pracuje jako náhrada běžného plynového kotle v otopném období a docílit tak snížení finanční náročnosti spotřebitele. Při návrhu se vychází ze zadaných hodnot, které byli již dříve provedeny orientačními měřeními potřeby tepla a elektrické energie.

2. KOGENERACE

Kogenerace, neboli kombinovaná výroba tepelné a elektrické energie je dnes velmi využívaná forma produkce konečných forem energií. Principem této technologie je proces přeměny energie tepla z paliva, kde se využívá vysokopotenciální tepelná energie k vykonání práce, čímž je dosaženo efektivnějšího využití energie obsažené v palivu. Ze stejného množství paliva je vyrobeno více energie a dochází tak k menším ztrátám v porovnání s běžným odděleným způsobem výroby. Oproti těmto klasickým způsobům, kde je teplo vzniklé při výrobě tepelné energie vypouštěno do okolí, využívá kogenerační jednotka teplo k výrobě elektrické energie a šetří tak palivo i finanční prostředky potřebné na jeho nákup.

Kogenerační jednotky jsou vyráběny o různých výkonových parametrech. U malých kogeneračních jednotek (mikrokogenerace) určených zejména pro domácnosti, se výkony pohybují od 5 – 10 kW_t a u velkých zařízení pro vytápění částí obvodů měst nebo pro průmyslové využití dosahují výkony až stovek kW vyrobené tepelné energie.

Dosahovaná účinnost se pohybuje v rozmezí od 75 - 92%, přičemž záleží na typu použitého kogeneračního zařízení.

2.1 Kogenerační technologie

2.1.1 Typy kogeneračních technologií

Základním prvkem určujícím typ kogenerační technologie je primární jednotka, druh primárního paliva nebo účel využití kogeneračního zařízení.

V současné době se jako pohon kogeneračních jednotek používají parní turbíny, spalovací turbíny, spalovací motory, paroplynová zařízení a s intenzivním vývojem přicházejí na trh i nové druhy pohoných jednotek, jakými jsou například mikroturbíny, parní motory, palivové články a Stirlingovy motory. V tabulce 2.1 jsou uvedeny některé druhy kogeneračních technologií a jejich základní vlastnosti.

Hlavními oblastmi pro uplatnění těchto zařízení se řadí do několika základních skupin. Jsou to skupiny malých kogeneračních zařízení určených převážně pro vytápění menších budov, dále pak velká zařízení potřebná v průmyslových podnicích a také kogenerační zařízení využívající obnovitelné palivové zdroje různého výkonu.

Tab.2.1 Charakteristické vlastnosti základních druhů kogeneračních zařízení [6].

Pohonná jednotka	Používané palivo	Rozsah výkonu [MWe]	Modul teplárenské výroby	Elektrická účinnost [%]	Celková účinnost [%]
Spalovací turbína	zemní plyn bioplyn lehký topný olej	1 - 250	0,4 – 1,2	25 -48	75 - 90
Paroplynové zařízení	zemní plyn bioplyn lehký topný olej	10 – 240	0,8 – 2,0	35 – 60	85 – 90
Spalovací motor	zemní plyn bioplyn lehký topný olej	0,01 – 10	0,5 – 1,1	25 – 45	75 – 92
Stirlingův motor	zemní plyn biopalivo	0,001 – 0,03	0,3 – 0,7	20 - 40	70 – 85

2.2 Hlavní zásady při návrhu kogenerační jednotky

- Nutnost zpracovat měsíční a roční odběrové diagramy tepla a elektrické energie.
- Zvážit, zda-li bude požadovaný výkon dodáván jedním větším nebo více agregáty s nižším výkonem.
- Zpracování vstupních bilancí a výstupních hlavních energetických toků.
- Posoudit, bude-li elektrická energie spotřebována pouze uživatelem nebo bude dodávána do veřejné rozvodné sítě.

2.3 Výhody, nevýhody kogenerace

Výhody použití kogenerační jednotky

- Výrazně snižuje celkovou velikost emisí SO₂, NO_x, CO, CO₂ a tuhých částic.
- Snižuje spotřebu primárních energetických zdrojů (PEZ).
- Využitím odpadního tepla nedochází k vysoké spotřebě použitého paliva v porovnání s tradičními způsoby výroby energií.
- Výnosy za vyrobenou elektřinu jsou dány nejen úsporou finančních prostředků, ale také možností prodeje elektřiny do veřejné rozvodné sítě.

Nevýhody použití kogenerační jednotky

- Vysoké investiční náklady.
- Návratnost vložených finančních prostředků je závislá na využití vyrobeného tepla a elektrické energie.

2.4 Obsluha a servis kogenerační jednotky

Provoz takového zařízení je bezobslužný a je nutná pouze kontrola pravidelnosti chodu. Servis je zajišťován dodavatelem zařízení na základě dohody o pravidelných údržbách. Provádí se buď po uplynutí stanovené doby provozu kogeneračního zařízení nebo po dosažení určitého množství vyrobených kWh.

2.5 Kogenerace a životní prostředí

Kogenerace oproti klasickému oddělenému způsobu výroby tepla a elektrické energie snižuje velikost emisí SO₂, NO_x, CO a také CO₂ a to zejména snížením spotřeby primárních energetických zdrojů. Snížení produkce CO₂ při provozu kogenerační jednotky je různé v závislosti na hodnotě teplotenského modulu výroby elektřiny, který je nezbytný pro posouzení úspory paliva vstupujícího do kombinované výroby.

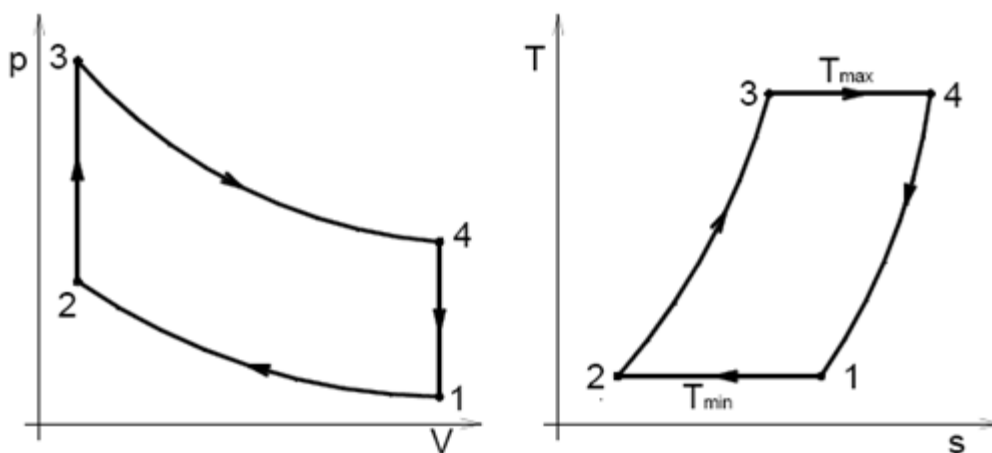
3. STIRLINGŮV MOTOR

Stirlingův motor má velmi dlouhou historii vývoje. Vynalezl jej skotský pastor Robert Stirling, který si tento motor nechal roku 1816 patentovat. V následujících desetiletích se Stirlingův motor úspěšně uplatňoval v řadě odvětví. Až koncem 19. století jej odsunuli do pozadí zážehové a vznětové motory.

Avšak v posledních několika desítek let došlo k jeho znovuzrození a ukázalo se, že tento typ motoru nachází své místo ve stacionárním provedení a to zejména při kogenerační výrobě tepla a elektřiny.

3.1 Ideální Stirlingův cyklus

Oběh ideálního Stirlingova cyklu je tvořen dvěma izotermami a dvěma izobarami. Skládá se z posloupností dějů izotermická komprese, izochorická komprese, izotermická expanze a izochorická expanze. Pracovní látce se přivádí teplo v ohřívači, odvádí v chladiči a jejich rozdíl je odveden z motoru formou práce. Skutečné děje, které nastávají při práci motoru, se ve větší nebo menší míře přibližují této idealizaci. Ideální Stirlingův oběh v p - V a T - s diagramu je na Obr.č.3.1.



Obr.3.1 p - V a T - S diagram ideálního Stirlingova oběhu [1]

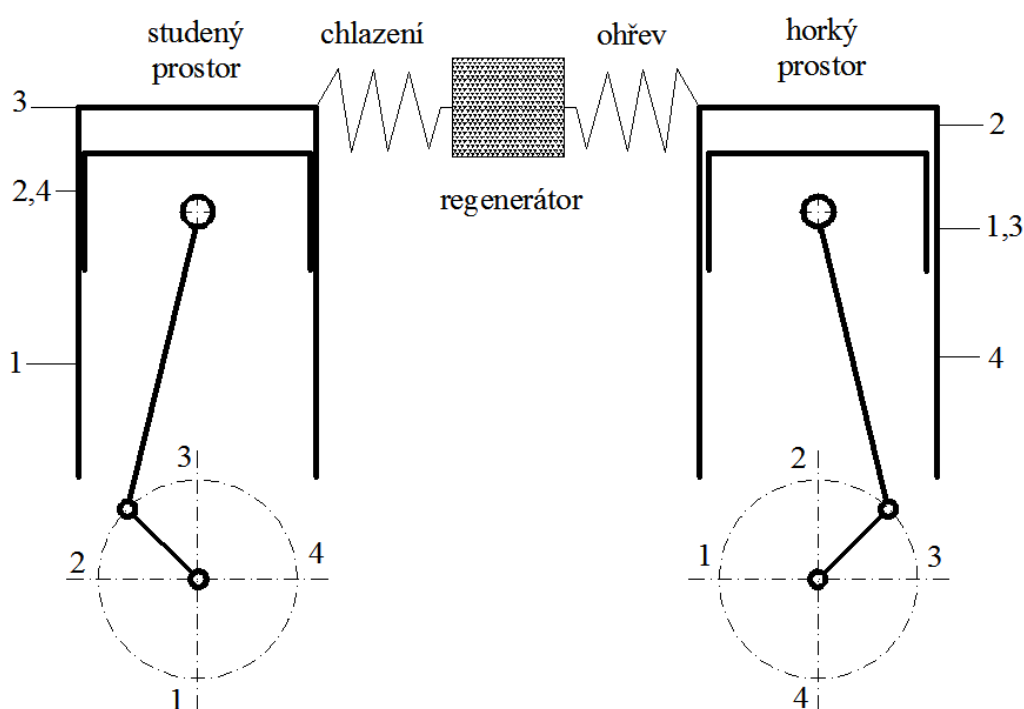
3.2 Popis motoru

Stirlingův motor je pístový motor s vnějším spalováním, ve kterém se uvolněná tepelná energie předává pracovní látce tepelného oběhu. Jako pracovní látka se nejčastěji užívá vzduch a pro zvýšení tepelné vodivosti a snížení tepelných ztrát se používá vodík, helium, dusík nebo CO_2 .

Stirlingův motor nemá explozivní spalování, které nastává u spalovacích motorů, a proto neobsahuje zapalovací zařízení, ventilové rozvody a jeho hlučnost při chodu je výrazně nižší než u klasických spalovacích motorů.

3.2.1 Princip funkce Stirlingova motoru

Stirlingův motor má dva pracovní prostory, mezi nimiž může volně proudit plyn. Skládá se z kompresorového a expanzního válce, přičemž jeden z prostorů je studený a druhý horký. Toho je docíleno buď přímým ohříváním a chlazením komor, nebo vnějším ohříváčem a chladičem. Mezi ohříváčem a chladičem je obvykle zařazen ještě regenerátor. Pracovní látka se během práce motoru nevyměňuje, pouze se přemísťuje z jednoho válce do druhého. Oba hřídele se otáčejí synchronně a jsou vzájemně pootočený o 90° .



Obr.3.2 Princip práce Stirlingova motoru

Princip práce Stirlingova motoru:

V poloze 1 je levý píst v dolní úvratí a pracovní objem levého válce je zcela zaplněn chladnou pracovní látkou. Pravý píst je přibližně v polovině zdvihu a pravý válec je tudíž z více než poloviny zaplněn horkou pracovní látkou. Pracovní látka v tuto chvíli zaujímá 1 a 1/2 pracovního prostoru válců a převážně je chladná. V p-V diagramu tento

stav odpovídá bodu 1. Při pohybu od polohy 1 k poloze 2 je médium přetlačováno pravým pístem přes regenerátor a chladič, v němž se z pracovní látky odvádí teplo, do levého válce. Přitom dochází ke kompresi, neboť v poloze 2 je objem pracovní látky nejmenší – jen $\frac{1}{2}$ pracovního prostoru levého válce. Tato komprese je ideálně izotermická – v p-V diagramu se pracovní látka dostane do bodu 2. Při pohybu mezi body 2 a 3 je médium přetlačováno při přibližně konstantním objemu do pravé komory, přičemž je mu v ohříváku předáváno teplo, v p-V diagramu proces 2-3. Následuje třetí část otáčky od polohy 3 do polohy 4 a pracovní objem se zvětšuje. Probíhá tedy expanze a médium přechází z větší části do pravého válce přes ohřívák, kde je mu přiváděno teplo. Tento děj je ideálně izotermický, v p-V diagramu proces 3-4. Po skončení děje zaujímá médium objem $1 \frac{1}{2}$ pracovního prostoru válce. Cyklus je zakončen přetlačením pracovní látky do levého válce ideálně při stálém objemu a odvodu tepla v chladiči. [8].

3.3 Parametry Stirlingova motoru

3.3.1 Kvalita tepelné energie

Kvalita tepelné energie závisí na typu použitého paliva. Odebrané teplo se odebírá a následně používá pro ohřev teplé užitkové vody. Mezi možnosti odběru tepla patří:

- Odběr přímo z tepelného zdroje
- Teplo odcházející z ohříváče
- Odběr z chladícího média motoru

3.3.2 Účinnost

Tepelná účinnost oběhu Stirlingova motoru závisí především na kompresním poměru ϵ , poměru teplot v expanzním a kompresním prostoru ϕ a na použité pracovní látce tepelného oběhu.

3.3.3 Použití paliva

Jednou z možností, jak získat teplo pro pohon motoru je dodávka tepla z jiných zdrojů. Využívá se zbytkové teplo z různých procesů nebo z jiného transformačního zdroje. V tomto případě odpadá spalování, které je nahrazeno přívodem tepelné energie.

3.3.4 Životnost a spolehlivost

V důsledku plynulého spalování se doba mezi opravami na rozdíl od klasických spalovacích motorů výrazně prodlužuje. Životnost takovéto větší jednotky by mohla dosáhnout až 20 let.

3.4 Výhody, nevýhody Stirlingova motoru

Výhody Stirlingova motoru

- Schopnost využití libovolného tepelného zdroje
- Spolehlivost
- Tichý chod
- Nižší emise škodlivých plynů
- Nulová spotřeba oleje
- Výrazně nižší servisní náklady dané dlouhými intervaly mezi údržbovými odstávkami

Nevýhody Stirlingova motoru

- Obtížná regulovatelnost
- Výkony do cca 50 kWe
- Vyšší cena (nízká sériovost výroby)
- Nutnost použití speciálních materiálů a technologických procesů

3.5 Vývoj Stirlingova motoru

V současnosti je nejbližší ke komerční produkci kogeneračních jednotek na bázi Stirlingova motoru německá firma Viessmann, která již provádí provozní testování kompaktní závěsné mikrokogenerační jednotky sestavené z plynového kondenzačního kotle a Stirlingova motoru s účinností 97%.

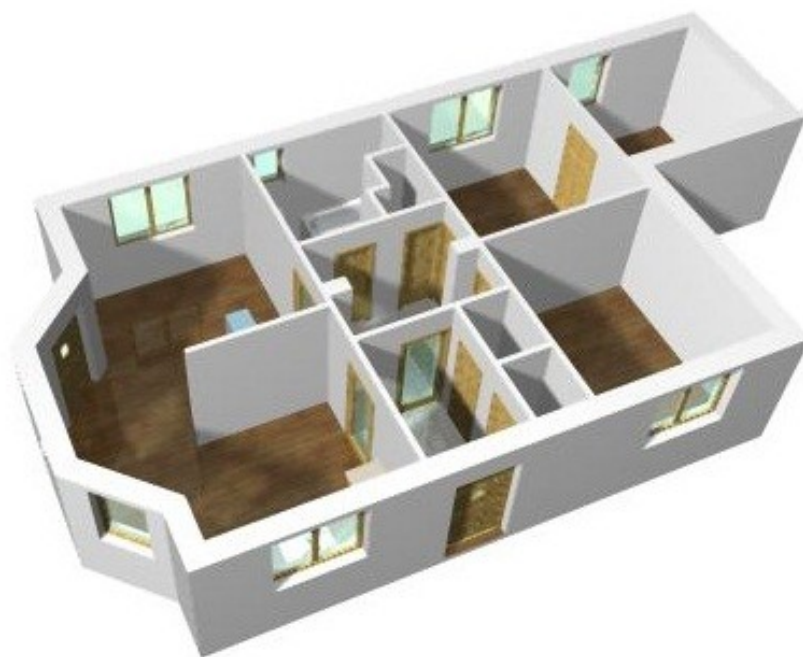
Dalším velmi významným produktem, z hlediska jednotek určených pro domácnosti, je mikrokogenerační jednotka firmy Whispergen, která má nízkou hlučnost, malé rozměry a design umožňující její umístění do kuchyňské linky. Jedná se v podstatě o kotel s doplňkovou výrobou elektřiny. Malá účinnost je vykompenzována podstatným snížením ceny zařízení. Provoz je řízen potřebou tepla a přebytky vyrobené elektrické energie je možno za jistých legislativních podmínek dodávat do veřejné sítě.

4. POPIS RODINNÉHO DOMU

Řešený objekt se nachází v obci Václavovice č.p. 458 u Ostravy. Dům je jednoposchodový a nachází se v něm 2 pokoje o stejné velikosti $11,38 \text{ m}^2$, dětský pokoj o velikosti $8,80 \text{ m}^2$, dále pak obývací pokoj společně s kuchyní o celkové velikosti $28,33 \text{ m}^2$, 2 komory, zádveří, hala a sociální zařízení. V neposlední řadě je pak součástí domu zastřešené parkovací stání a terasa s vchodem z obývacího pokoje. Celková výměra domu a hodnota vycházející pro výpočet tepelných ztrát činí $77,48 \text{ m}^2$.

Dům je opatřen plastovými okny a dveřmi a je celý zateplen. Z hlediska orientace je umístěn tak, aby byl do obývací části rodinného domu zaručen co nejdelší přísun denního světla.

Půdorys objektu je součástí přílohy bakalářské práce.



Obr.4.3 Řešený objekt v obci Bohuslavice

5. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

Stanovení tepelných ztrát rodinného domku je provedeno dvěma způsoby. První způsob vychází z postupu uveřejněném v ČSN 38 3350, druhý způsob je pak proveden podle normy ČSN 06 0210.

5.1 Výpočet tepelných ztrát podle ČSN 38 3350

Potřeba tepla pro vytápění

Výpočet se provádí na základě obestavěného prostoru V , tepelné charakteristiky q_0 a rozdílu teplot mezi vnějším a vnitřním prostředím.

Při výpočtu celkové tepelné ztráty objektu dle tohoto způsobu se nepočítá s tepelnou ztrátou větráním.

Nejdříve je nutné ze známých velikostí ploch jednotlivých konstrukcí S a jejich součinitelů prostupu tepla k spočítat průměrnou hodnotu obvodového pláště S_e , která v poměru k obestavěnému prostoru V je potřebná ke stanovení tepelné charakteristiky budovy ze závislosti, jež je uvedena v [3]. Při znalosti hodnoty obestavěného prostoru a tepelné charakteristiky je možné vypočítat velikost celkové tepelné ztráty objektu podle vztahu:

$$Q_0 = V \cdot q_0 \cdot (t_i - t_e) \quad [\text{W}] \quad (1)$$

kde

V	Obestavěný prostor	$[\text{m}^3]$
q_0	Tepelná charakteristika	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}]$
t_i	Střední vnitřní teplota vzduchu = 22	$[\text{°C}]$
t_e	Nejnižší venkovní teplota podle [L4] = -15	$[\text{°C}]$

5.1.1 Výpočet ploch stavebních konstrukcí

Rozměry odečteny/změřeny z projektu RD.

Podlaha

$$S_{\text{podlaha}} = \Sigma \text{ploch} \quad [\text{m}^2] \quad (2)$$

$$S_{\text{podlaha}} = 15,89 + 12,44 + 4,03 + 0,91 + 1,08 + 5,43 + 1,33 + 4,81 + 11,38 + 11,38 + 8,8$$

$$S_{\text{podlaha}} = 77,48 \quad [\text{m}^2]$$

Okna

$$\Sigma X = S_{\text{okna}} \quad [\text{m}^2] \quad (3)$$

$$S_{\text{okna}} = 4 \cdot (1,5 \cdot 1,35) + 3 \cdot (0,9 \cdot 1,35) + (0,6 \cdot 0,9)$$

$$S_{\text{okna}} = 12,285 \quad [\text{m}^2]$$

Dveře (venkovní)

$$S_{\text{dveře}} = (0,9 \cdot 2) + (1 \cdot 2) \quad [\text{m}^2] \quad (4)$$

$$S_{\text{dveře}} = 3,8 \quad [\text{m}^2]$$

Střecha

$$S_{\text{střecha}} = S_{\text{podlaha}} \quad [\text{m}^2] \quad (5)$$

$$S_{\text{střecha}} = 77,48 \quad [\text{m}^2]$$

Stěny

$$S_{\text{stěny}} = O_{\text{st}} \cdot h - S_{\text{okna}} - S_{\text{dveře}} \quad [\text{m}^2] \quad (6)$$

$$S_{\text{stěny}} = (13,5 + 1,8 + 1,7 + 2,6 + 1,7 + 1 + 10,2 + 4,3 + 3,3 + 3,5) \cdot 2,575 - 16,085$$

$$S_{\text{stěny}} = 96,185 \quad [\text{m}^2]$$

kde

Ost... Obvod stěn rodinného domu [m]

h..... Světla výška místnosti [m]

5.1.2 Výpočet obestavěného prostoru

$$V = S_{\text{podlaha}} \cdot h \quad [\text{m}^2] \quad (7)$$

$$V = 77,48 \cdot 2,575$$

$$V = 199,5 \quad [\text{m}^2]$$

5.1.3 Součinitele prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce

Součinitele prostupu tepla převzaty z [3]. Součinitel prostupu tepla pro stěnu převzat z [13].

Podlaha

$$k_p = 0,37 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Stěny

$$k_{st} = 0,26 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Střecha

$$k_{stř} = 0,24 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Okna

$$k_o = 2,9 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Dveře

$$k_d = 4,7 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

5.1.4 Průměrný součinitel prostupu tepla transparentních výplní

$$k_v = \frac{S_{oken} \cdot k_o + S_{dveře} \cdot k_d}{S_{oken} + S_{dveře}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (8)$$

$$k_v = \frac{12,285 \cdot 2,9 + 3,8 \cdot 4,7}{12,285 + 3,8}$$

$$k_v = 3,325 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

5.1.5 Průměrná hodnota obvodového pláště

$$\bar{S}_e = \frac{S_{st} \cdot k_{st} + S_p \cdot k_p + S_v \cdot k_v + S_{stř} \cdot k_{stř}}{k_{st} \cdot k_p \cdot k_v \cdot k_s} \quad [\text{m}^2] \quad (9)$$

$$\bar{S}_e = \frac{96,185 \cdot 0,26 + 77,48 \cdot 0,37 + 16,085 \cdot 3,325 + 77,48 \cdot 0,24}{0,26 + 0,37 + 3,325 + 0,24}$$

$$\bar{S}_e = 29,98 \quad [\text{m}^2]$$

5.1.6 Stanovení měrné tepelné charakteristiky

$$\frac{\bar{S}_e}{V} \quad (\text{poměr ke stanovení } q_o \text{ odečtením z diagramu III. v [3]})$$

$$\bar{S}_e = \frac{29,98}{199,5} = 0,150 \rightarrow q_o = 1,1 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}]$$

5.1.7 Výpočet celkové tepelné ztráty objektu podle vztahu (1) je tedy

$$Q_0 = V \cdot q_0 \cdot (t_i - t_e) \quad [W] \quad (10)$$

$$Q_0 = 199,5 \cdot 1,1 \cdot (22 - (-15))$$

$$Q_0 = 8132 \quad [W]$$

5.2 Výpočet tepelných ztrát podle ČSN 06 0210

Výpočet tepelných ztrát dle této normy je proveden zjednodušeným výpočtem. Při výpočtu se vychází pouze z tepelných ztrát, které procházejí vnějšími konstrukcemi, přičemž se uvažuje v celém objektu stejná výpočtová teplota $t_i = 22^\circ\text{C}$.

Celková tepelná ztráta objektu je součtem ztrát prostupem tepla jednotlivými konstrukcemi a tepelnou ztrátou větráním (infiltrací). Ve výpočtu se neuvažují trvalé tepelné zisky. K tepelným ztrátám, které jsou rozděleny podle světových stran dle normy [4] je přičtena přírážka na světové strany. Přírážka na vyrovnání vlivu chladných stěn a přírážka na urychlení zátoku se neuvažuje. Součinitelé prostupu tepla jsou převzaty ze [4]. Součinitel prostupu tepla pro stěnu je převzat z [13].

Potřeba tepla pro vytápění

Celková tepelná ztráta je dána vztahem uveřejněném v [4]. :

$$Q_{tz} = Q_p + Q_v \quad [W] \quad (11)$$

kde

$$Q_p \dots \text{Tepelná ztráta prostupem} \quad [W]$$

$$Q_v \dots \text{Tepelná ztráta větráním} \quad [W]$$

Tepelná ztráta prostupem tepla jednotlivými konstrukcemi

Výpočet se rovná součtu tepelných toků jednotlivými konstrukcemi dle [4], podle vzorce:

$$Q_p = \Sigma Q_{ss} \cdot (1 + p_3) \quad [W] \quad (12)$$

kde

$$Q_{ss} \dots \text{Základní tepelná ztráta na jednotlivé strany} \quad [W]$$

$$p_3 \dots \text{Přírážka na světové strany} \quad [1]$$

Základní tepelná ztráta na jednotlivé strany

$$Q_{ss} = \sum k_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_e) \quad [W] \quad (13)$$

kde

kSoučinitel prostupu tepla $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$

SPlocha konstrukce $[m^2]$

t_i Střední vnitřní teplota vzduchu = 22 $[^{\circ}C]$

t_e Nejnižší venkovní teplota podle [4] = -15 $[^{\circ}C]$

5.2.1 Výpočet tepelného toku pro severně orientované konstrukce

Rozměry odečteny/změřeny z projektu RD.

Okna

$$\Sigma X = S_{\text{okna sever}} \quad [m^2] \quad (14)$$

$$S_{\text{okna sever}} = 0 \quad [m^2]$$

Součinitel prostupu tepla

$$k_o = 2,9 \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Dveře

$$S_{\text{dveře sever}} = 0 \quad [m^2] \quad (15)$$

Součinitel prostupu tepla

$$k_d = 4,7 \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Stěny

$$S_{\text{stěny sever}} = O_{\text{stěny}} \cdot h - S_{\text{okna}} - S_{\text{dveře}} \quad [m^2] \quad (16)$$

$$S_{\text{stěny sever}} = (3,5 + 4,3) \cdot 2,575 - 0 - 0$$

$$S_{\text{stěny sever}} = 20,09 \quad [m^2]$$

Součinitel prostupu tepla

$$k_d = 0,26 \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Tepelná ztráta (sever)

$$Q_{ss \text{ sever}} = [2,9 \cdot 0 \cdot (22 - (-15))] + [4,7 \cdot 0 \cdot (22 - (-15))] + [0,26 \cdot 20,09 \cdot (22 - (-15))]$$

$$Q_{ss \text{ sever}} = 193,27 \quad [W]$$

$$Q_{p \text{ sever}} = 193,27 \cdot (1 + 0,1)$$

$$Q_{p \text{ sever}} = 212,6 \quad [\text{W}]$$

5.2.2 Výpočet tepelného toku pro východně orientované konstrukce

Rozměry odečteny/změřeny z projektu RD.

Okna

$$\Sigma X = S_{\text{okna východ}} \quad [\text{m}^2] \quad (17)$$

$$S_{\text{okna východ}} = 2 \cdot (1,5 \cdot 1,35)$$

$$S_{\text{okna východ}} = 4,1 \quad [\text{m}^2]$$

Součinitel prostupu tepla

$$k_o = 2,9 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Dveře

$$S_{\text{dveře východ}} = 1 \cdot 2 \quad [\text{m}^2] \quad (18)$$

$$S_{\text{dveře východ}} = 2 \quad [\text{m}^2]$$

Součinitel prostupu tepla

$$k_d = 4,7 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Stěny

$$S_{\text{stěny východ}} = \Sigma S_{\text{východ}} - S_{\text{okna východ}} - S_{\text{dveře východ}} \quad [\text{m}^2] \quad (19)$$

$$S_{\text{stěny východ}} = (3,3 + 10,2) \cdot 2,575 - 4,1 - 2$$

$$S_{\text{stěny východ}} = 28,66 \quad [\text{m}^2]$$

Součinitel prostupu tepla

$$k_d = 0,26 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Tepelná ztráta (východ)

$$Q_{ss \text{ východ}} = [2,9 \cdot 4,1 \cdot (22 - (-15))] + [4,7 \cdot 2 \cdot (22 - (-15))] + [0,26 \cdot 28,66 \cdot (22 - (-15))]$$

$$Q_{ss \text{ východ}} = 1063,44 \quad [\text{W}]$$

$$Q_{p \text{ východ}} = 1063,44 \cdot (1 + 0,05)$$

$$Q_{p \text{ východ}} = 1116,61 \quad [\text{W}]$$

5.2.3 Výpočet tepelného toku pro jižně orientované konstrukce

Rozměry odečteny/změřeny z projektu RD.

Okna

$$\Sigma X = S_{\text{okna jih}} \quad [\text{m}^2] \quad (20)$$

$$S_{\text{okna jih}} = 2 \cdot (0,9 \cdot 1,35)$$

$$S_{\text{okna jih}} = 2,43 \quad [\text{m}^2]$$

Součinitel prostupu tepla

$$k_o = 2,9 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Dveře

$$S_{\text{dveře jih}} = 0,9 \cdot 2 \quad [\text{m}^2] \quad (21)$$

$$S_{\text{dveře jih}} = 1,8 \quad [\text{m}^2]$$

Součinitel prostupu tepla

$$k_d = 4,7 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Stěny

$$S_{\text{stěny jih}} = \Sigma S_{\text{jih}} - S_{\text{okna jih}} - S_{\text{dveře jih}} \quad [\text{m}^2] \quad (22)$$

$$S_{\text{stěny jih}} = (1 + 1,7 + 2,6 + 1,7 + 1,8) \cdot 2,575 - 2,43 - 1,8$$

$$S_{\text{stěny jih}} = 18,43 \quad [\text{m}^2]$$

Součinitel prostupu tepla

$$k_d = 0,26 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Tepelná ztráta (jih)

$$Q_{ss \text{ jih}} = [2,9 \cdot 2,43 \cdot (22 - (-15))] + [4,7 \cdot 1,8 \cdot (22 - (-15))] + [0,26 \cdot 18,43 \cdot (22 - (-15))]$$

$$Q_{ss \text{ jih}} = 751,1 \quad [\text{W}]$$

$$Q_p \text{ jih} = 751,1 \cdot (1 + (-0,05))$$

$$Q_p \text{ jih} = 713,52 \quad [\text{W}]$$

5.2.4 Výpočet tepelného toku pro západně orientované konstrukce

Rozměry odečteny/změřeny z projektu RD.

Okna

$$\Sigma X = S_{\text{okna západ}} \quad [\text{m}^2] \quad (23)$$

$$S_{\text{okna západ}} = 2 \cdot (1,5 \cdot 1,35) + (0,6 \cdot 0,9) + (0,9 \cdot 1,35)$$

$$S_{\text{okna západ}} = 5,81 \quad [\text{m}^2]$$

Součinitel prostupu tepla

$$k_o = 2,9 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Dveře

$$S_{\text{dveře západ}} = 0 \quad [\text{m}^2]$$

Součinitel prostupu tepla

$$k_d = 4,7 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Stěny

$$S_{\text{stěny západ}} = \Sigma S_{\text{západ}} - S_{\text{okna západ}} - S_{\text{dveře západ}} \quad [\text{m}^2] \quad (24)$$

$$S_{\text{stěny západ}} = (13,5 \cdot 2,575) - 5,81 - 0$$

$$S_{\text{stěny západ}} = 28,96 \quad [\text{m}^2]$$

Součinitel prostupu tepla

$$k_d = 0,26 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Tepelná ztráta (západ)

$$Q_{ss \text{ západ}} = [2,9 \cdot 5,81 \cdot (22 - (-15))] + [4,7 \cdot 0 \cdot (22 - (-15))] + [0,26 \cdot 28,96 \cdot (22 - (-15))]$$

$$Q_{ss \text{ západ}} = 902 \quad [\text{W}]$$

$$Q_p \text{ západ} = 902 \cdot (1 + 0)$$

$$Q_p \text{ západ} = 902 \quad [\text{W}]$$

5.2.5 Výpočet tepelného toku pro podlahu

Podlaha

$$S_{\text{podlaha}} = 77,48 \quad [\text{m}^2]$$

Součinitel prostupu tepla

$$k_p = 0,37 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Tepelná ztráta (podlaha)

$$Q_{\text{ss podlaha}} = [0,37 \cdot 77,48 \cdot (22 - (-15))]$$

$$Q_{\text{ss podlaha}} = 1060,7 \quad [\text{W}]$$

$$Q_{\text{p podlaha}} = Q_{\text{ss podlaha}}$$

$$Q_{\text{p podlaha}} = 1060,7 \quad [\text{W}]$$

5.2.6 Výpočet tepelného toku pro střechu

Střecha

$$S_{\text{střecha}} = 77,48 \quad [\text{m}^2]$$

Součinitel prostupu tepla

$$k_p = 0,24 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Tepelná ztráta (střecha)

$$Q_{\text{ss střecha}} = [0,24 \cdot 77,48 \cdot (22 - (-15))]$$

$$Q_{\text{ss střecha}} = 688,02 \quad [\text{W}]$$

$$Q_{\text{ss střecha}} = 688,02 \quad [\text{W}]$$

Tepelné ztráty prostupem celkem

$$Q_p = \Sigma Q_{\text{pi}} \quad [\text{W}] \quad (25)$$

$$Q_p = Q_{\text{p sever}} + Q_{\text{p východ}} + Q_{\text{p západ}} + Q_{\text{p jih}} + Q_{\text{p podlaha}} + Q_{\text{p střecha}}$$

$$Q_p = 212,6 + 1116,61 + 902 + 713,52 + 1060,7 + 688,02$$

$$Q_p = 4693,45 \quad [\text{W}]$$

5.2.7 Tepelné ztráty větráním

Tepelná ztráta větráním je definována jako:

$$Q_v = c_v \cdot V_v \cdot (t_i - t_e) \quad [\text{W}] \quad (26)$$

$$Q_v = 1300 \cdot 0,0388 \cdot (22 - (-15))$$

$$Q_v = 1866,28 \quad [\text{W}]$$

kde

$$c_v \dots \text{Objemová tepelná kapacita vzduchu} \quad [\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}]$$

$$V_v \dots \text{Objemový tok větracího vzduchu, větší z } V_{vP} \text{ a } V_{vH} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$t_i, t_e \dots \text{Vnitřní a vnější výpočtová teplota} \quad [^\circ\text{C}]$$

5.2.8 Potřebný průtok vzduchu daný hygienickými požadavky

$$V_{vH} = n_h \cdot V_m / 3600 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (27)$$

$$V_{vH} = 0,7 \cdot (77,48 \cdot 2,575) / 3600$$

$$V_{vH} = 0,0388 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde

$$n_h \dots \text{Hygienicky nutná výměna vzduchu dle [7]} \quad [1]$$

$$n_h \text{ se volí } 0,5 \text{ až } 0,7 \text{ h}^{-1}, \text{ volím } n_h = 0,7 \quad [\text{h}^{-1}]$$

5.2.9 Spotřeba tepla pro ohřev TUV

Vycházím ze skutečných hodnot spotřeby plynu v daném rodinném domě, uvedeným v příloze 1.

Celková spotřeba tepla pro vytápění, větrání a ohřev TUV je tedy:

$$Q_{tz} = Q_p + Q_v + Q_o \quad [\text{W}] \quad (28)$$

$$Q_{tz} = 4693,45 + 1866,28 + 120,8$$

$$Q_{tz} = 6681 \quad [\text{W}]$$

Tepelná ztráta vypočítaná dle normy ČSN 06 0210 vyšla 6681 W.

6. SKUTEČNÁ SPOTŘEBA TEPLA

Dlouhodobým měřením a pozorováním byla zjištěna skutečná spotřeba zemního plynu v zadaném rodinném domě. Z hodnoty skutečné spotřeby zemního plynu je vypočítána skutečná spotřeba tepla pro zadaný rodinný dům.

6.1 Výpočet skutečné spotřeby zemního plynu

Vycházím z rovnice regrese z Obr.6.4.

$$Q_{\max} = -0,4024 \cdot t_e + 8,0343 \quad [\text{m}^3/\text{den}] \quad (29)$$

$$Q_{\max} = -0,4024 \cdot (-15) + 8,034$$

$$Q_{\max} = 14,07 \quad [\text{m}^3/\text{den}]$$

kde

$$Q_{\max} \dots \dots \text{Skutečná spotřeba zemního plynu} \quad [\text{m}^3/\text{den}]$$

$$t_e \dots \dots \text{Nejnižší venkovní teplota podle [4]} \quad [^\circ\text{C}]$$

6.1.1 Přepočet spotřebovaného zemního plynu na kW

Pro provedení přepočtu spotřebovaného zemního plynu z m^3 na kW se užívá převod 1 m^3 odpovídá 10,55 kW.

tedy:

$$Q_{\max} = 14,07 \cdot 10,55$$

$$Q_{\max} = 148,439 \quad [\text{kWh}/\text{den}]$$

6.1.2 Výpočet skutečné spotřeby tepla

$$P_{\max} = \frac{Q_{\max}}{24} \quad [\text{kWh}] \quad (30)$$

$$P_{\max} = \frac{148,439}{24}$$

$$P_{\max} = 6,185 \quad [\text{kWh}]$$

kde

$$P_{\max} \dots \dots \text{Skutečná spotřeba tepla} \quad [\text{kWh}]$$

6.1.3 Skutečná spotřeba tepla v zemním plynu

$$P_{plmax} = \frac{P_{max}}{\mu_K} \quad [W] \quad (31)$$

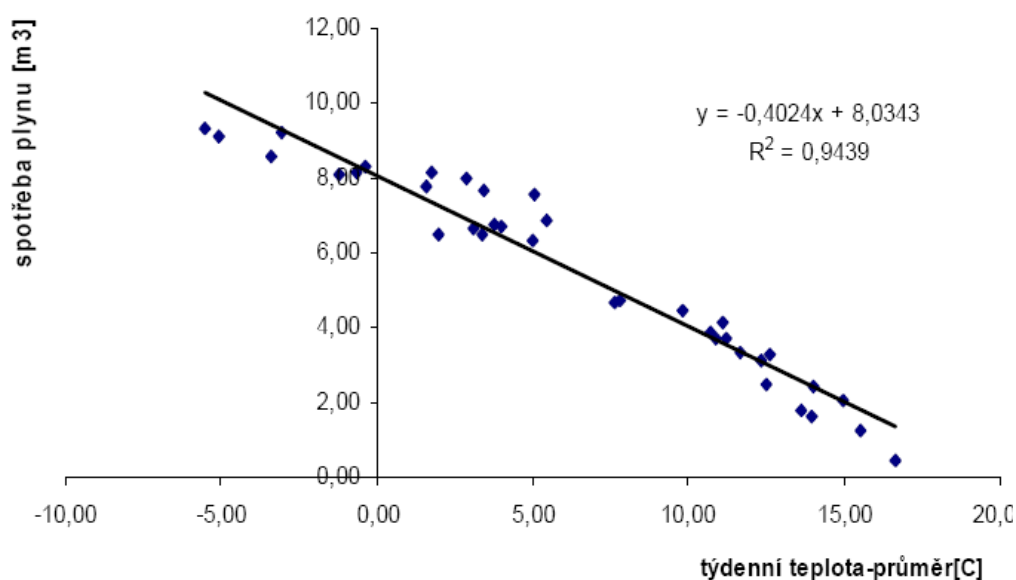
$$P_{plmax} = \frac{6185}{0,95}$$

$$P_{plmax} = 6511 \quad [W]$$

kde

P_{plmax}Skutečná spotřeba tepla v zemním plynu [W]

μ_K Účinnost plynového kotle [%]



Obr.6.4 Průběh spotřeby plynu rodinného domu v závislosti na teplotě

6.2 Srovnání skutečné spotřeby tepla s výslednými tepelnými ztrátami

Skutečná spotřeba tepla - 6511 [W]

Tepelné ztráty dle ČSN 38 3350 - 8132 [W]

Tepelné ztráty dle ČSN 06 0210 - 6681 [W]

Výsledná hodnota skutečné spotřeby tepla rodinného domu se velmi blíží vypočtené hodnotě dle normy ČSN 06 2010. Norma ČSN 38 3350 je zastaralou normou a tudíž slouží jen jako porovnání s ostatními vypočtenými hodnotami. Pro návrh vhodné kogenerační jednotky vycházím ze skutečné spotřeby tepla rodinného domu.

7. NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

Dle výše uvedených výpočtů navrhuji kogenerační jednotku firmy Whispergen, která nejlépe svými parametry odpovídá daným požadavkům. Jednotku lze vzhledem k jejímu konstrukčnímu provedení umístit v kuchyni jako je zobrazeno na Obr.7.5.

..

Tab. 7.2 Parametry kogenerační jednotky Whispergen

P_t	7	[kW]
P_{el}	1	[kW]
pracovní látka	dusík	[l]
η_{el}	12	[%]
η_q	80	[%]
hluk	63	[db]
servis	7500	[hod]
rozměry	50x85x60	[cm]
váha	140	[kg]
cena	2500	[€]



Obr.7.5 Kogenerační jednotka firmy Whispergen [14]

8. VÝPOČET VÝMĚNÍKU TEPLA

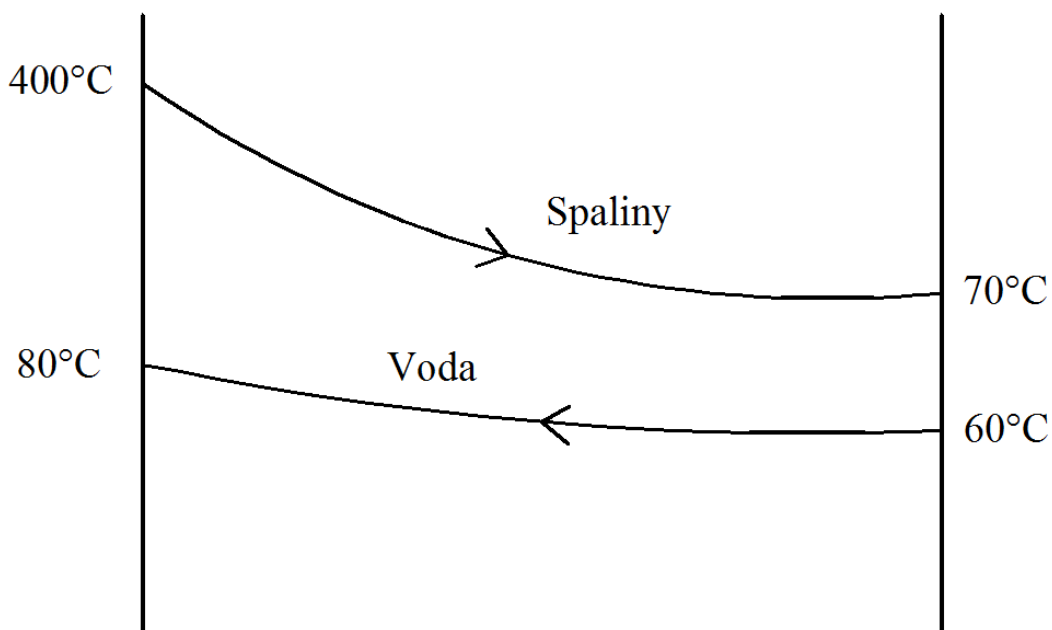
8.1 Průběh teplot ve výměníku

Teplota spalin:

Vstup:	$t_{sp1} = 400^{\circ}\text{C}$	vstupní teplota spalin	$[^{\circ}\text{C}]$
Výstup:	$t_{sp2} = 70^{\circ}\text{C}$	výstupní teplota spalin	$[^{\circ}\text{C}]$

Teplota vody:

Vstup:	$t_{v1} = 80^{\circ}\text{C}$	vstupní teplota vody	$[^{\circ}\text{C}]$
Výstup:	$t_{v2} = 60^{\circ}\text{C}$	výstupní teplota vody	$[^{\circ}\text{C}]$



Obr.8.6 Průběh teplot ve výměníku

8.2 Střední logaritmický teplotní spád

Rozdíl teplot na pravé straně výměníku:

$$\Delta t_1 = t_{sp1} - t_{v1} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (32)$$

$$\Delta t_1 = 400 - 80$$

$$\Delta t_1 = 320 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Rozdíl teplot na levé straně výměníku:

$$\Delta t_1 = t_{sp2} - t_{v2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (33)$$

$$\Delta t_1 = 70 - 60$$

$$\Delta t_1 = 10 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Střední logaritmický teplotní spád:

$$\Delta t_{stř} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (34)$$

$$\Delta t_{stř} = \frac{320 - 10}{\ln \frac{320}{10}}$$

$$\Delta t_{stř} = 89,45 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

8.3 Výpočet objemu spalin a množství vody

Množství spalin

$$P_{SPAL} = V_{SPAL} \cdot (i1_{SPAL} - i2_{SPAL}) \cdot \eta_{VYM} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (35)$$

$$V_{SPAL} = \frac{P_{SPAL}}{\eta_{VYM} \cdot (i1_{SPAL} - i2_{SPAL})}$$

$$V_{SPAL} = \frac{7}{0,95 \cdot (543,92 - 92,48)}$$

$$V_{SPAL} = 0,0163 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde

$$V_{SPAL} \dots\dots \text{Množství spalin} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$\eta_{VYM} \dots\dots \text{Účinnost výměníku tepla} \quad [1]$$

$$P_{SPAL} \dots\dots \text{Tepelný výkon spalin, dán kogenerační jednotkou} \quad [\text{kW}]$$

$$i1_{SPAL} \dots\dots \text{Entalpie spalin, pro teplotu } 400^{\circ}\text{C} = 543,92 \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

$$i2_{SPAL} \dots\dots \text{Entalpie spalin, pro teplotu } 70^{\circ}\text{C} = 92,48 \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Množství vody

$$P_{SPAL} = m_V \cdot (i_{V1} - i_{V2})$$

$$m_V = \frac{P_{SPAL}}{i_{V1} - i_{V2}} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (36)$$

$$m_V = \frac{7}{334,9 - 251,1}$$

$$m_V = 0,0835 \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde

m_vmnožství vody [kg.s⁻¹]

i_{v1}entalpie vody, pro teplotu 80°C = 334,9 [kJ.kg⁻¹]

i_{v2}entalpie vody, pro teplotu 60°C = 251,1 [kJ.kg⁻¹]

Hodnoty všech entalpií určeny z [9].

8.4 Volba rozměrů vnitřních trubek výměníku

Dle normy ČSN 13 1030 pro bezešvé ocelové trubky pro potrubí volím rozměry potrubí:

Vnější Ø potrubí: $d_1 = 22$ [mm]

Vnitřní Ø potrubí: $d_2 = 19,4$ [mm]

Jmenovitý tlak potrubí: $p = 4$ [MPa]

8.5 Výpočet součinitele přestupu tepla pro příčné obtékání trubek

Pro výpočet součinitele přestupu tepla pro příčné obtékání trubek vycházím z rovnice:

$$\alpha_1 = C_s \cdot C_z \cdot \frac{\overline{\lambda_{sp}}}{d_1} \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,33} \quad [W.m^{-2}.K^{-1}] \quad (37)$$

kde

C_sKorekční součinitel uspořádání trubek [1]

C_zKorekční součinitel na počet řad trubek [1]

λ_{sp}Součinitel tepelné vodivosti spalin [W.m⁻¹.K⁻¹]

d_1 Vnější průměr trubky [m]

ReReynoldsovo kritérium [1]

PrPrandtlovo kritérium [1]

Hodnoty pro výpočet součinitele odečteny z [9] pro střední teplotu spalin 235°C.

8.5.1 Reynoldsovo kritérium

$$R_e = \frac{W_{sp} \cdot d_1 \cdot \rho_{sp}}{\eta_{sp}} \quad [1] \quad (38)$$

$$R_e = \frac{14 \cdot 0,022 \cdot 0,703}{25,772 \cdot 10^{-6}}$$

$$R_e = 8402 \quad [1]$$

kde

w_{sp}Rychlost spalin [m.s⁻¹]

d_1Vnější průměr potrubí [m]

ρ_{sp}Hustota spalin [kg.m⁻³]

η_{sp}Dynamická viskozita spalin [Pa.s]

8.5.2 Příčná vzdálenost os trubek

$$S_{pr} = \sigma_{pr} \cdot d_1 \quad [m] \quad (39)$$

$$S_{pr} = 3 \cdot 0,022$$

$$S_{pr} = 0,066 \quad [m]$$

kde

σ_{pr}poměrný příčný rozestup, volí se 2 až 4 – volím $\sigma_{pr} = 3$ [1]

8.5.3 Podélná vzdálenost os trubek

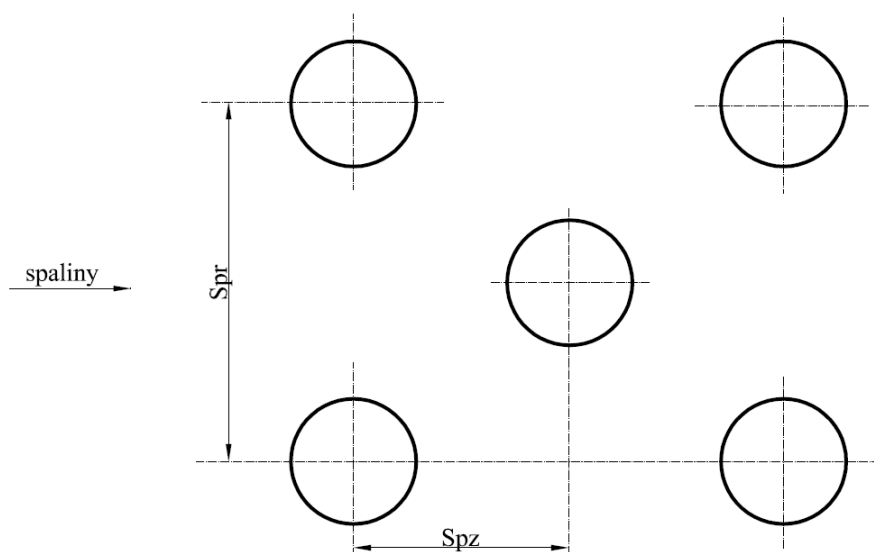
$$S_{pz} = \sigma_{pz} \cdot d_1 \quad [m] \quad (40)$$

$$S_{pz} = 2 \cdot 0,022$$

$$S_{pz} = 0,044 \quad [m]$$

kde

σ_{pz}poměrný podélný rozestup, volí se 1,7 až 3 – volím $\sigma_{pz} = 2$ [1]



Obr.8.7 Konstrukční provedení trubek ve výměníku

8.5.4 Poměrný úhlopříčný rozestup

$$\sigma_{\dot{u}p} = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \sigma_{pr}^2 + \sigma_{pz}^2} \quad [1] \quad (41)$$

$$\sigma_{\dot{u}p} = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot 3^2 + 2^2}$$

$$\sigma_{\dot{u}p} = 1,8 \quad [1]$$

8.5.5 Závislost uspořádání trubek na součiniteli φ_σ

$$\varphi_\sigma = \frac{\sigma_{pr} - 1}{\sigma_{\dot{u}p} - 1} \quad [1] \quad (42)$$

$$\varphi_\sigma = \frac{3 - 1}{1,8 - 1}$$

$$\varphi_\sigma = 2,5$$

[1]

8.5.6 Korekční součinitel podle uspořádání trubek C_s

$$C_s = 0,34 \cdot \varphi_\sigma^{0,5} \quad [1] \quad (43)$$

$$C_s = 0,34 \cdot 2,5^{0,5}$$

$$C_s = 0,537 \quad [1]$$

8.5.7 Korekční součinitel na počet řad C_z

$$C_z = 3,12 \cdot z^{0,05} - 2,5 \quad [1] \quad (44)$$

$$C_z = 3,12 \cdot 8^{0,05} - 2,5$$

$$C_z = 0,961 \quad [1]$$

$$\text{kde} \quad [1]$$

$$z \dots \text{počet řad trubek výměníku} \quad [1]$$

z se volí $z < 10$, volím $z = 8$

Součinitel přestupu tepla pro příčné obtékání trubek podle vzorce (37) je tedy:

$$\alpha_1 = C_s \cdot C_z \cdot \frac{\overline{\lambda_{sp}}}{d_1} \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,33}$$

$$\alpha_1 = 0,537 \cdot 0,961 \cdot \frac{4,295 \cdot 10^{-2}}{0,022} \cdot 8402^{0,6} \cdot 0,6568^{0,33}$$

$$\alpha_1 = 198,44 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

8.6 Výpočet součinitele přestupu tepla při podélném obtékání teplosměnné plochy

Pro výpočet součinitele přestupu tepla při podélném obtékání teplosměnné plochy vycházím z rovnice:

$$\alpha_2 = 0,023 \cdot C_t \cdot C_d \cdot C_l \cdot \frac{\bar{\lambda}_v}{d_2} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (45)$$

kde

C_t	Korekční součinitel na teplotu média a stěny	[1]
C_d	Korekční součinitel na tvar trubky	[1]
C_l	Korekční součinitel na poměrnou délku trubek	[1]
λ_v	Součinitel tepelné vodivosti vody	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
d_2	Vnitřní průměr trubky	[m]
Re	Reynoldsovo kritérium	[1]
Pr	Prandtlovo kritérium	[1]

Hodnoty pro výpočet součinitele odečítám z [9] pro střední teplotu vody 70°C.

8.6.1 Reynoldsovo kritérium

$$Re = \frac{W_v \cdot d_2 \cdot \rho_v}{\eta_v} \quad [1] \quad (46)$$

$$Re = \frac{2 \cdot 0,0194 \cdot 698,6}{412,5 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = 65710,7 \quad [1]$$

kde

W_v	Rychlost vody	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
d_2	Vnitřní průměr potrubí	[m]
ρ_v	Hustota vody	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
η_v	Dynamická viskozita vody	[Pa.s]

8.6.2 Korekční součinitel na teplotu média a stěny

$$C_t = 1 \quad [1]$$

8.6.3 Korekční součinitel na tvar trubky

$$C_d = 1 \quad [1]$$

8.6.4 Korekční koeficient na poměrnou délku trubek

Pouze v případě, že $\frac{l}{d} < 50$, jinak $C_l = 1$ [1]

Výpočet součinitele přestupu tepla při podélném obtékání teplosměnné plochy podle vzorce (45) je tedy:

$$\alpha_2 = 0,023 \cdot C_t \cdot C_d \cdot C_l \cdot \frac{\bar{\lambda}_v}{d_2} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (47)$$

$$\alpha_2 = 0,023 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{66,65 \cdot 10^{-2}}{0,0194} \cdot 65710,7^{0,8} \cdot 2,595^{0,4}$$

$$\alpha_2 = 8269,64 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

8.6.5 Součinitel přestupu tepla

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (48)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{198,44} + \frac{1}{8269,64}}$$

$$k = 193,789 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

kde

k.....Součinitel přestupu tepla $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$

8.6.6 Velikost teplosměnné plochy

$$P = k \cdot S \cdot \Delta t \quad [\text{m}^2] \quad (49)$$

$$S = \frac{P}{k \cdot \Delta t_{\text{stř}}}$$

$$S = \frac{7000}{193,789 \cdot 89,45}$$

$$S = 0,404 \quad [\text{m}^2]$$

kde

P.....Předaný tepelný výkon ze spalin [W]

S.....Velikost teplosměnné plochy [W]

ΔtRozdíl teplot na obou koncích výměníku tepla $[^{\circ}\text{C}]$

8.6.7 Celková délka trubek výměníku

$$S = \pi \cdot d \cdot l \rightarrow l = \frac{S}{\pi \cdot d} \quad [\text{m}] \quad (50)$$

$$l = \frac{0,404}{\pi \cdot 0,022}$$

$$l = 5,843 \quad [\text{m}]$$

8.6.8 Celkový počet trubek výměníku

$$n = \frac{l}{L} \quad [1] \quad (51)$$

$$n = \frac{5,843}{0,8}$$

$$n = 12 \quad [1]$$

kde

n.....Počet trubek výměníku [1]

l.....Celková délka trubek výměníku [m]

L.....Délka výměníku tepla, volím 0,8 [m]

8.6.9 Návrh průměru pro přívod a odvod topné vody a spalin

Průměr pro přívod a odvod topné vody:

$$m_V = \rho_V \cdot \frac{\pi \cdot d_V^2}{4} \cdot w_V$$

$$d_V = \sqrt{\frac{4 \cdot m_V}{\rho_V \cdot \pi \cdot w_V}} \quad [\text{m}] \quad (52)$$

$$d_V = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0835}{983,3 \cdot \pi \cdot 2}}$$

$$d_V = 0,00735 \quad [\text{m}]$$

Dle normy ČSN 13 1030 pro bezešvé ocelové trubky pro potrubí volím rozměry pro přívod a odvod topné vody:

Vnější Ø potrubí: $d_1 = 33,7$ [mm]

Vnitřní Ø potrubí: $d_2 = 25$ [mm]

Jmenovitý tlak $p = 4$ [MPa]

Průměr pro přívod a odvod spalin:

$$V_{sp} = \frac{\pi \cdot d_{sp}^2}{4} \cdot w_{sp}$$

$$d_{sp} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{sp}}{\pi \cdot w_{sp}}} \quad [\text{m}] \quad (53)$$

$$d_{sp} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0163}{\pi \cdot 14}}$$

$$d_{sp} = 0,0385 \quad [\text{m}]$$

Pro potrubí pro přívod a odvod spalin volím dle normy ČSN 13 1030 rozměry ocelové bezešvé trubky:

Vnější Ø potrubí:	$d_1 = 88$	[mm]
Vnitřní Ø potrubí:	$d_2 = 70$	[mm]
Jmenovitý tlak	$p = 4$	[MPa]

Dle provedených výpočtů navrhují kruhový tepelný výměník spaliny – voda o parametrech uvedených v následující tabulce. Výrobní výkres výměníku tepla je obsažen v příloze bakalářské práce.

Tab.8.3 Parametry tepelného výměníku

Celková délka zařízení	1000	[mm]
Délka výměníku	800	[mm]
Podélná vzdálenost os trubek	44	[mm]
Příčná vzdálenost os trubek	66	[mm]
Celkový počet trubek výměníku	12	[ks]
Průměr vnitřních trubek výměníku		
Vnitřní	22,0	[mm]
Vnější	19,4	[mm]
Průměr pro přívod a odvod spalin		
Vnitřní	70,0	[mm]
Vnější	88,0	[mm]
Průměr pro přívod a odvod topné vody		
Vnitřní	25,0	[mm]
Vnější	33,7	[mm]

9. EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ STUDIE

Ekonomická analýza je důležitý a nezbytný krok k posouzení investiční strategie při stavbě energetického zdroje. V průběhu času se podmínky ovlivňující každoroční ekonomické výsledky mění a mnohdy velmi výrazně a neočekávaně. Proto je potřeba posoudit výhodnost energetické investice hodnocením ročních výrobních nákladů a výnosů. Pro získání lepších výsledků je často nutné zahrnout do výpočtů i další položky, jako jsou například vliv inflace nebo možnosti získání dotací na zařízení. Avšak v této práci je tato varianta výpočtu zanedbána.

Kogenerační jednotka instalovaná v zadaném rodinném domě bude pracovat pouze v otopném období a celkem se počítá s 229 dny otopného období.

9.1. Výpočet vyrobených kWh elektrické a tepelné energie

9.1.1 Množství vyrobených kWh elektrické energie

$$Q_{Se} = n_o \cdot P \cdot 24 \quad [\text{kWh}] \quad (54)$$

$$Q_{Se} = 229 \cdot 0,2 \cdot 24$$

$$Q_{Se} = 1099,2 \quad [\text{kWh}]$$

kde

n_o Počet dnů v otopném období, pro Ostravu 229 dnů [1]

P Průměrný elektrický příkon dle přílohy č.2 [kWh]

Q_{Se} ... Spotřeba elektrické energie v otopném období [kWh]

9.1.2 Množství vyrobených kWh tepelné energie

1 kWh vyrobené elektrické energie kogenerační jednotky odpovídá 7 kW tepla.

$$Q_T = 7 \cdot Q_{Se} \quad [\text{kWh}] \quad (55)$$

$$Q_T = 7 \cdot 1099,2$$

$$Q_T = 7694,4 \quad [\text{kWh}]$$

kde

Q_T Vyrobené teplo v otopném období [kWh]

Q_{Se} ... Spotřeba elektrické energie v otopném období [kWh]

9.2 Spotřeba plynu v otopném období

$$Q_P = \frac{Q_T}{\mu_k} \quad [\text{kWh}] \quad (56)$$

$$Q_P = \frac{7694,4}{0,95}$$

$$Q_P = 8099,368 \quad [\text{kWh}]$$

kde

Q_POdpovídající spotřeba plynu [kWh]

μ_kÚčinnost plynového kotle [1]

9.3 Náklady za zemní plyn a elektrickou energii v otopném období

9.3.1 Výpočet ceny elektrické energie

Odpovídající distribuční sazba D01d:

- cena za distribuci a obchod $C_{do} = 5\,407,86,- \text{ Kč/MWh}$
- pevná sazba za obchod $P_{spl} = 48,- \text{ Kč/měsíc}$
- měsíční plat za příkon podle jm. proudové hodnoty jističe před elektroměrem $P1 = 14,40,- \text{ Kč/měsíc}$

Ceny elektrické energie převzaty z [11].

Cena za elektrickou energii celkem:

$$N_{el} = (P_{spl} + P1) \cdot 12 + (C_{do} \cdot Q_{se}) \quad [\text{Kč}] \quad (57)$$

$$N_{el} = (48 + 14,40) \cdot 12 + (5407,86 \cdot 1,0992)$$

$$N_{el} = 6693 \quad [\text{Kč}]$$

9.3.2 Výpočet ceny zemního plynu v otopném období

Potřeba tepla plynu v otopném období

$$Q_{pl} = Q_{MAX} \cdot \left(\frac{t_{is} - t_e}{t_{is} - t_e} \right) \cdot 229 \quad [\text{kWh}] \quad (58)$$

$$Q_{pl} = 148,439 \cdot \left(\frac{22-4}{22-(-15)} \right) \cdot 229$$

$$Q_{pl} = 16536,91 \quad [\text{kWh}]$$

kde

$Q_{pl} \dots$ Potřeba tepla v plynu v otopném období [kWh]

Q_{MAX} ... Skutečná spotřeba zemního plynu [kW]

$t_{is} \dots$ Vnitřní výpočtová teplota [°C]

$t_e \dots$ Venkovní výpočtová teplota [°C]

$t_e' \dots$ Průměrná roční teplota [°C]

Cena za zemní plyn celkem:

$$N_{ZP} = (P_{st} \cdot 12) + (Q_{pl} \cdot C_{pl}) \quad [Kč] \quad (59)$$

$$N_{ZP} = (252,56 \cdot 12) + (16536,91 \cdot 1,09337)$$

$$N_{ZP} = 21\,112 \quad [Kč]$$

kde

$C_{pl} \dots$ součet cen za odebraný zemní plyn [Kč/kWh]

$P_{st} \dots$ součet stálých měsíčních poplatků [Kč/měsíc]

Ceny zemního plynu převzaty z [8].

Náklady za zemní plyn a elektrickou energii celkem:

$$N_c = N_{el} + N_{ZP} \quad [Kč] \quad (60)$$

$$N_c = 6693 + 2112$$

$$N_c = 27\,805 \quad [Kč]$$

9.4 Ekonomická efektivnost po instalaci kogenerační jednotky

9.4.1 Elektrická energie dodaná z kogenerační jednotky za otopné období

Elektrická energie dodaná kogenerační jednotkou za otopné období je totožná se spotřebovanou elektrickou energií v otopném období. Předpokládám, že kogenerační jednotka dodává veškerou potřebnou elektrickou energii.

$$Q_{Se} = Q_{Ekg} = 1099,2 \quad [kWh] \quad (61)$$

9.4.2 Tepelná energie dodaná kogenerační jednotkou

$$Q_{Tkg} = \frac{Q_{Ekg}}{P_{Ekg}} \cdot P_{Tkg} \quad [\text{kWh}] \quad (62)$$

$$Q_{Tkg} = \frac{1099,2}{1} \cdot 7$$

$$Q_{Tkg} = 7694,4 \quad [\text{kWh}]$$

kde

Q_{Ekg}Elektrická energie dodaná kogenerační jednotkou [kWh]

P_{Ekg}Elektrický výkon kogenerační jednotky [kWh]

P_{Tkg}Tepelný výkon kogenerační jednotky [kWh]

Q_{Tkg}Tepelná energie dodaná kogenerační jednotkou [kWh]

9.4.3 Spotřeba zemního plynu pro kogenerační jednotku

$$Q_{PLkg} = \frac{Q_{Tkg} + Q_{Ekg}}{\eta_c} \quad [\text{kWh}] \quad (63)$$

$$Q_{PLkg} = \frac{7694,4 + 1099,2}{0,92}$$

$$Q_{PLkg} = 9558,26 \quad [\text{kWh}]$$

kde

Q_{PLkg}Spotřeba plynu pro kogenerační jednotku [kWh]

η_cCelková účinnost kogenerační jednotky [1]

9.4.5 Potřeba energie v zemním plynu po instalaci kogenerační jednotky

$$Q_{pl\ KGJ} = Q_{pl} - Q_{Tkg} \quad [\text{kWh}] \quad (64)$$

$$Q_{pl\ KGJ} = 16536,91 - 7694,4$$

$$Q_{pl\ KGJ} = 8842,51 \quad [\text{kWh}]$$

9.4.6 Celková spotřeba zemního plynu po instalaci kogenerační jednotky

$$Q_{plC} = Q_{pl\ KGJ} + Q_{PLkg} \quad [\text{kWh}] \quad (65)$$

$$Q_{plC} = 8842,51 + 9558,26$$

$$Q_{plC} = 18400,77 \quad [\text{kWh}]$$

9.4.7 Náklady za zemní plyn po instalaci kogenerační jednotky

$$N_{ZP\ KGJ} = (P_{st} \cdot 12) + (Q_{plC} \cdot C_{pl}) \quad [\text{Kč}] \quad (66)$$

$$N_{ZP\ KGJ} = (252,56 \cdot 12) + (18400,77 \cdot 1,09337)$$

$$N_{ZP\ KGJ} = 23432 \quad [\text{Kč}]$$

kde

C_{pl} součet cen za odebraný zemní plyn [Kč/kWh]

P_{st} součet stálých měsíčních poplatků [Kč/měsíc]

Ceny zemního plynu převzaty z [8].

9.4.8 Úspora nákladů:

$$\Delta N = N_c - N_{ZP\ KGJ} \quad [\text{Kč}] \quad (67)$$

$$\Delta N = 27805 - 23432$$

$$\Delta N = 4373 \quad [\text{Kč}]$$

9.4.9 Hrubá návratnost investic:

$$N_h = \frac{\text{cena kogenerační jednotky}}{\text{úspora nákladů}} \quad [\text{let}] \quad (68)$$

$$N_h = \frac{61325}{4373}$$

$$N_h = 14 \quad [\text{let}]$$

kde

Cena kogenerační jednotky = 2 500 [€]

Kurz Euro – Kč = 24,53 [Kč/€]

Cena kogenerační jednotky v Kč = 61 325 [Kč]

9.5 Porovnání ekonomické efektivnosti různých dodavatelů plynu

Dodavatel	Produktová řada	Náklady za elektřinu a teplo [Kč]	Náklady po instalaci KJ [Kč]	Úspora nákladů [Kč]	Návratnost investice [let]
 SKUPINA ČEZ	Topím +	27 805	23 432	4 373	14
 BOHEMIA ENERGY	Garance	28 271	23 843	4 428	14
 LUMEN LUMEN ENERGY a.s.	Home	27 690	23 481	4 209	15
 RWE The energy to lead	Standard	29 510	25 063	4 474	14
 ENERGETICKÉ CENTRUM	Standard	27 987	23 593	4 394	14

10. ZÁVĚR

Bakalářská práce pojednává o vhodnosti použití kogenerační jednotky, která pracuje se Stirlingovým motorem a v průběhu topné sezóny nahrazuje tradiční způsob vytápění rodinného domku plynovým kotlem. Tato kogenerační jednotka zároveň s teplem je schopna vyrobit elektrickou energii a tedy ušetřit značnou část nákladů vynaložených pro každodenní potřebu této energie.

V úvodu práce je teoreticky popsána kogenerační technologie, její výhody a Stirlingův motor a jeho přínos pro energetiku z hlediska velmi příznivých parametrů a velice jednoduché konstrukce a funkce.

Pro návrh kogenerační jednotky se vychází z výpočtů tepelných ztrát rodinného domu, skutečné spotřeby objektu a následně je proveden výpočet tepelného výměníku, který slouží pro ohřev teplé užitkové vody. Nedílnou součástí přílohy bakalářské práce je nejen výrobní výkres tepelného výměníku, ale i schéma zapojení kogenerační jednotky do systému rodinného domu.

Ekonomické vyhodnocení studie vhodnosti využití kogenerační jednotky v rodinném domě je provedeno porovnáním běžného způsobu vytápění odběrem elektrické energie z veřejné sítě a použitím kogenerační jednotky, která zcela pokrývá potřebu tepla a elektrické energie daného objektu. Jako výsledná analýza ekonomické studie je provedena doba návratnosti investice za podmínek daných současnými cenami energií a je provedeno i porovnání návratnosti investice při odběru zemního plynu od různých dodavatelů na území Moravskoslezského kraje.

Mikrokogenerační jednotku pracující se Stirlingovým motorem lze po provedených výpočtech zcela jistě navrhnout jako velice vhodnou a ekonomicky výhodnou alternativu výroby energií v domácnosti. Mikrokogenerace se řadí mezi nové způsoby kombinované výroby energií, ale dojde-li v budoucnu k sériové výrobě těchto systémů, najde si tato metoda své postavení na trhu a bude moci konkurovat současným produktům a přispěje nejen ke značným úsporám finančních prostředků, ale také se bude velkou měrou podílet na zlepšení životního prostředí.

11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MÍKA, J.: *Motory s vnějším spalováním*, Habilitační přednáška VŠB-TU Ostrava 2004, 17 s.
- [2] MACHÁČEK, J.: *Stirlingův termodynamický cyklus*, Disertační práce (zkrácená verze) VUT Brno 2009, ISSN 1213-4198, 30 s.
- [3] ČSN 38 3350 – *Zásobování teplem*
- [4] ČSN 06 0210 – *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*
- [5] KYSELA, L., TOMČALA, J.: *Ekonomika v energetice*, Skriptum VŠB-TU Ostrava 2000, ISBN 80-7078-851-8, 64 s.
- [6] DVORSKÝ, E., HEJTMÁNKOVÁ, P.: *Kombinovaná výroba energií*, BEN Praha 2005, ISBN 80-7300-118-7, 288 s.
- [7] OCHRANA, L., KRBEK, J., POLESNÝ, B.: *Zásobování teplem a kogenerace*, Skriptum VUT Brno 1999, ISBN 80-214-1347-6, 143 s.
- [8] KRBEK, J., POLESNÝ, B.: *Kogenerační jednotky – Zřizování a provoz*, Gas Praha 2007, ISBN 978-80-7328-151-9, 200 s.
- [9] KADLEC, Z.: *Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty*, Edice SPBI, Ostrava 2009, ISBN 978-80-7385-061-6, 100 s.
- [10] STEHLÍK, P., KOHOUTEK, J., NĚMČANSKÝ, J.: *Tepelné pochody–Výpočet výměniku tepla*, Skriptum VUT Brno 1991, ISBN 80-214-0363-2, 129 s.
- [11] URL<<http://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/cez-cenik-moo-ele-2011.pdf>
- [12] URL<<http://www.cez.cz/cs/pro-zakazniky/domacnosti/plyn/ceny-plynu-2011/topimplus.html>
- [13] URL<<http://www.levnymaterial.cz/ytong-lambda-tvarnice-p2-350-pdk-375x249x599-375-cm-sirka/>
- [14] URL<http://newenergydirection.com/blog/wp-content/uploads/2009/06/WhisperGen_edit.JPG

12. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1

Spotřeba plynu pro vytápění a ohřev TUV v zadaném rodinném domě.

Příloha č.2

Spotřeba elektrické energie v zadaném rodinném domě.

Příloha č.3

Průběh spotřeby elektrické energie v zadaném rodinném domě v závislosti na teplotě.

Příloha č.4

Výkres půdorysu zadaného rodinného domu.

Příloha č.5

Výkres sestavy výměníku tepla.

Příloha č.6

Výkres schématu zapojení kogenerační jednotky do systému v rodinném domě.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.3.1	p-V a T-S diagram ideálního Stirlingova oběhu
Obr.3.2	Princip práce Stirlingova motoru
Obr.4.3	Řešený objekt v obci Bohuslavice
Obr.6.4	Průběh spotřeby plynu rodinného domu v závislosti na teplotě
Obr.7.5	Kogenerační jednotka firmy Whispergen
Obr.8.6	Průběh teplot ve výměníku
Obr.8.7	Konstrukční provedení trubek ve výměníku

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1	Charakteristické vlastnosti základních druhů kogeneračních zařízení
Tab. 7.2	Parametry kogenerační jednotky Whispergen
Tab. 8.3	Parametry tepelného výměníku
Tab. 9.4	Porovnání doby návratnosti investic od různých dodavatelů plynu na území Moravskoslezského kraje

Příloha č.1

Spotřeba plynu pro vytápění a ohřev TUV v zadaném rodinném domě.

Topná sezona			
<i>Datum</i>	<i>Teplota [°C]</i> (týdenní průměr)	<i>Plyn m³/den</i>	<i>kWh</i>
28.9.2008	10,72	3,84	1,60
5.10.2008	11,66	3,33	1,389
12.10.2008	12,60	3,29	1,372
19.10.2008	10,87	3,71	1,547
26.10.2008	7,81	4,72	1,966
2.11.2008	11,09	4,12	1,719
9.11.2008	11,24	3,72	1,549
16.11.2008	7,63	4,66	1,940
23.11.2008	2,00	6,51	2,711
30.11.2008	3,08	6,67	2,778
7.12.2008	5,01	6,34	2,642
14.12.2008	3,36	6,46	2,693
21.12.2008	3,75	6,77	2,822
28.12.2008	-0,63	8,13	3,389
4.1.2009	-5,07	9,11	3,795
11.1.2009	-5,54	9,29	3,873
18.1.2009	-3,07	9,23	3,848
25.1.2009	3,46	7,66	3,192
1.2.2009	-0,35	8,28	3,451
8.2.2009	3,97	6,71	2,794
15.2.2009	-1,22	8,06	3,360
22.2.2009	-3,37	8,58	3,573
1.3.2009	1,75	8,14	3,393
8.3.2009	5,43	6,88	2,865
15.3.2009	2,87	7,97	3,322
22.3.2009	1,57	7,78	3,243
29.3.2009	5,03	7,58	3,157
5.4.2009	9,79	4,44	1,849
12.4.2009	14,96	2,01	0,838
19.4.2009	12,52	2,49	1,037
26.4.2009	12,31	3,09	1,289
3.5.2009	15,55	1,25	0,522
10.5.2009	14,02	2,42	1,008
17.5.2009	13,95	1,61	0,671
24.5.2009	16,64	0,45	0,186
31.5.2009	13,61	1,76	0,732

Mimo topné období		
<i>Datum</i>	<i>Plyn m³/den</i>	<i>kWh</i>
5.7.2009	0,297	0,124
12.7.2009	0,372	0,155
19.7.2009	0,274	0,114
2.8.2009	0,276	0,115
9.8.2009	0,270	0,113
16.8.2009	0,356	0,148
23.8.2009	0,273	0,114
30.8.2009	0,203	0,085

Příloha č.2

Spotřeba elektrické energie v zadaném rodinném domě.

Topná sezona			
<i>Datum</i>	<i>Teplota [°C]</i> (týdenní průměr)	<i>kWh/den</i>	<i>Příkon [W]</i>
28.9.2008	10,72	4,99	207,8
5.10.2008	11,66	4,44	185,0
12.10.2008	12,60	4,23	176,2
19.10.2008	10,87	4,94	206,0
26.10.2008	7,81	4,63	192,9
2.11.2008	11,09	5,05	210,6
9.11.2008	11,24	4,66	194,0
16.11.2008	7,63	4,57	190,5
23.11.2008	2,00	5,49	228,7
30.11.2008	3,08	5,48	228,2
7.12.2008	5,01	6,97	290,5
14.12.2008	3,36	5,40	225,0
21.12.2008	3,75	5,22	217,6
28.12.2008	-0,63	6,11	254,5
4.1.2009	-5,07	5,54	231,0
11.1.2009	-5,54	6,05	252,1
18.1.2009	-3,07	5,27	219,8
25.1.2009	3,46	4,93	205,2
1.2.2009	-0,35	5,40	225,0
8.2.2009	3,97	4,60	191,7
15.2.2009	-1,22	5,21	217,2
22.2.2009	-3,37	5,01	208,9
1.3.2009	1,75	5,76	239,9
8.3.2009	5,43	5,33	222,0
15.3.2009	2,87	5,38	224,1
22.3.2009	1,57	5,02	209,0
29.3.2009	5,03	5,58	232,6
5.4.2009	9,79	4,40	183,5
12.4.2009	14,96	4,05	168,9
19.4.2009	12,52	3,26	135,9
26.4.2009	12,31	3,97	165,3
3.5.2009	15,55	3,40	141,6
10.5.2009	14,02	3,43	143,0
17.5.2009	13,95	3,56	148,2
24.5.2009	16,64	2,74	114,3
31.5.2009	13,61	3,44	143,5

Mimo topné období		
<i>Datum</i>	<i>kWh/den</i>	<i>Příkon [W]</i>
7.6.2009	2,776	115,7
14.6.2009	2,686	111,9
21.6.2009	2,709	112,9
28.6.2009	3,018	125,7
5.7.2009	2,943	122,6
12.7.2009	2,700	112,5
19.7.2009	3,289	137,1
2.8.2009	2,807	117,0
9.8.2009	3,181	132,6
16.8.2009	2,822	117,6
23.8.2009	3,295	137,3
30.8.2009	3,286	136,9
6.9.2009	2,854	118,9
13.9.2009	3,514	146,4
20.9.2009	2,986	124,4
27.9.2009	3,521	146,7

Příloha č.3

Průběh spotřeby elektrické energie v zadaném rodinném domě v závislosti na teplotě.

